

# Da fissão nuclear aos elementos transurânicos: questões epistemológicas no caso Fermi-Noddack<sup>1</sup>

*From nuclear fission to the transuranic elements:  
epistemological issues in the Fermi-Noddack case*

VINÍCIUS CARVALHO DA SILVA

Universidade Estadual do Tocantis | UNITINS

**RESUMO** Com a publicação do artigo de Einstein de 1905 acerca da equivalência entre massa e energia iniciou-se um novo programa de pesquisa. As tentativas de confirmação da teoria exigiam o bombardeamento de núcleos atômicos, culminando, na década de 1940, com a vindicação de descoberta da fissão nuclear. O físico italiano Enrico Fermi teria obtido tal resultado em seu laboratório em Roma antes do grupo alemão de Hahn, Strassman e Meitner. Ainda assim, negou a hipótese da fissão nuclear, apresentada anos antes pela química alemã Ida Tackle Noddack e propôs a descoberta de elementos transurânicos para explicar seus resultados experimentais. Neste artigo investigamos o que levou Fermi a rejeitar a hipótese de Noddack. Defenderemos que apenas uma abordagem complexa que conjugue múltiplos fatores pode nos aproximar de uma compreensão histórica mais arrojada da realidade social da pesquisa científica.

**Palavras-chave** prematuridade da descoberta científica – fissão nuclear – axiologia da ciência.

**ABSTRACT** *With the publication of Einstein's 1905 article on the equivalence between mass and energy a new research program began. Attempts to confirm the theory required the bombardment of atomic nuclei, culminating in the 1940s with the vindication of the discovery of nuclear fission. The Italian physicist Enrico Fermi would have obtained such a result in his laboratory in Rome before the German group of Hahn, Strassman and Meitner. Still, he denied the nuclear fission hypothesis, presented years earlier by German chemist Ida Tackle Noddack, and proposed the discovery of transuranic elements to explain his experimental results. In this article we investigate what led Fermi to reject the Noddack hypothesis. We will argue that only a complex approach combining multiple factors can bring us closer to a bolder historic understanding of social reality of scientific research.*

**Keywords** *prematurity of scientific discovery - nuclear fission - axiology of science.*

## Introdução

*A ciência, como algo já finalizado e completo, é a coisa mais objetiva, impessoal, que os seres humanos conhecem. A ciência como algo que vem a ser, como uma meta, é simplesmente tão subjetiva, tão psicologicamente condicionada como todas as demais atividades humanas.*

*Albert Einstein*

*A ciência não flutua no vácuo. Não há cientista que seja só cientista; ele é também cidadão de uma cultura, político, filósofo, etc., mesmo que não tenha consciência disso. Quem fala mal da política ou da filosofia está, sem o saber, tomando uma posição política ou filosófica.*

*Newton Freire-Maia*

Estamos tão acostumados a contar a história dos casos de sucesso na ciência, dos programas de pesquisa bem-sucedidos, que negligenciamos uma questão fundamental para a compreensão da atividade científica: os casos de fracasso, de rejeição de teorias, hipóteses ou descobertas. Por que uma teoria foi realmente rejeitada? Porque não passou pelos crivos daqueles critérios como simplicidade, beleza, consistência lógica, adequação com os fatos? Há elementos políticos e ideológicos, além de compromissos estéticos e metafísicos atuando no interior da investigação científica, e muitas vezes eles podem ser os responsáveis, ou ao menos contribuir como variáveis presentes nos casos de rejeição.

De acordo com algumas interpretações do conceito de prematuridade, de Gunter Stent, muitos fatores “extra-epistêmicos” podem contribuir para que uma teoria seja rejeitada, ou seja, para que uma determinada teoria *x* não seja incorporada à tradição do conhecimento científico. Stent sustentou que uma descoberta é prematura quando não pode ser logicamente conectada, por meio de uma série de etapas simples, ao conhecimento científico canônico de sua época<sup>2</sup>. A prematuridade de uma descoberta, apesar do nome, não implica a negação de seu valor de verdade. A descoberta pode um dia tornar-se canônica, ou ser simplesmente negada, como a teoria do éter. Os exemplos que Stent fornece de casos de prematuridade são: (1) a apresentação das leis de Mendel; (2) a defesa de Avery do DNA como mediador da transformação bacteriana; (3) a teoria de Polany acerca da adsorção gasosa de sólidos; (4) vindicações de PES – percepção extra-sensorial a partir dos anos 1960; e (5) a vindicação de transferência de memória de animal para animal pelos extratos de ácido nucleico.

Gostaríamos de oferecer uma nova interpretação do conceito de prematuridade. Primeiro, pretendemos classificar dois tipos de prematuridade. Chamaremos o primeiro tipo de “prematividade epistêmica”, e o segundo tipo, de “prematividade axiológica”. Como já vimos, a prematuridade epistêmica ocorre quando não podemos conectar logicamente uma descoberta à tradição. Em termos kuhnianos, não podemos conectar avanços extraordinários à ciência ordinária do paradigma vigente. A prematuridade ética, ou axiológica, ocorre quando *não podemos conectar axiologicamente uma descoberta ou teoria científica ao ethos científico canônico de sua época*. Por exemplo, a clonagem humana, mesmo que se epistemicamente pudesse ser conectada logicamente aos cânones da genética atual, tenderia a ser rejeitada, porque a conexão ao conhecimento canônico seria, muito provavelmente, impedida por razões axiológicas. Ou seja, tal descoberta, para ser incorporada à tradição científica, demanda um suporte axiológico inexistente. Tudo se passa como se a descoberta percesse ter nascido sem um *ethos* favorável à sua sobrevivência. O ambiente axiológico é demasiado hostil para qual a teoria evolua e se adapte, sendo, portanto, selecionada. Em outras palavras, valores também podem ser determinantes para a rejeição de teorias ou descobertas científicas, mesmo quando estas são logicamente consistentes e epistemicamente promissoras. Uma descoberta prematura é sempre uma aposta para o futuro. Algumas descobertas ficariam em suspenso por um período de tempo até serem incorporadas ao conhecimento científico canônico ou rejeitadas em definitivo. Entre a apresentação das leis de Mendel e sua valorização transcorreram 35 anos. Stent nos

lembra de que a prematuridade, ou seja, a explicação dos casos de rejeição por falta de conectabilidade lógica, não exclui a existência de outras razões, que ele considera como “extraepistêmicas”, de ordem social, política e cultural, como variáveis importantes dos eventos de negação de teorias. Por este motivo, julgamos pertinente classificarmos os casos de prematuridade por razões epistêmicas e axiológicas.

Avery teria apresentado em 1944 a prova de que o DNA forneceria a explicação para a transmissão da hereditariedade. Contudo, foi somente por meio do experimento de 1952 de Hershey-Chase<sup>3</sup> que o foco da biologia molecular voltou-se para a importância do DNA como substância da hereditariedade. O fato é que a descoberta de Avery não foi apreciada em sua época. Stent salienta que, de acordo com Lamann, Avery possuía uma personalidade modesta, não competitiva, o que pode ter determinado a falta de reconhecimento de sua teoria. A própria vindicação de descoberta do DNA em 1869 ilustraria um caso semelhante. De acordo com Chargaff, o lapso de 75 anos entre a descoberta e seu devido reconhecimento se daria pelo fato de F. Miescher ser uma pessoa “tranquila”, e por não haver na ciência da época a estrutura publicitária da qual dispomos hoje.

## Breves considerações acerca do caminho até a fissão do núcleo atômico

Realizar aqui uma reconstrução histórica da ciência nuclear seria impossível. Antes, teríamos que nos decidir por uma abordagem continuísta ou descontinuísta, internalista ou externalista. Dependendo da perspectiva adotada, teríamos que começar nosso relato por volta de 500 a.C.<sup>4</sup>. De acordo com Heisenberg, a compreensão da história de um ramo da ciência é fundamental para entendermos seu estado atual. No caso da física nuclear, tal compreensão exige que retornemos aos gregos<sup>5</sup>:

56

*A física nuclear é um dos mais recentes desenvolvimentos da física. O termo núcleo foi introduzido por Rutherford há cerca de quarenta anos e um conhecimento mais detalhado do núcleo atômico foi obtido somente nas últimas cinco décadas. Mas o conceito de estrutura da matéria – a concepção de que existem certas partículas elementares que são os blocos de construção de toda a matéria – foi sugerido como hipótese pelos filósofos gregos antigos há 2500 anos. **Qualquer um que desejar entender a teoria atômica moderna deverá estudar a história do conceito de átomo** [nosso grifo]<sup>6</sup>.*

Na concepção de Heisenberg, embora a física nuclear seja recente, ela se baseia (E este seria, em nossas palavras, um de seus pressupostos metafísicos) no postulado de que o conceito de átomo corresponde a uma entidade natural, com propriedades físicas reais, de tal modo que a compreensão da história de tal conceito é parte constituinte do esforço de pesquisa que o físico deve fazer para compreender seu campo de investigação. Lembramos que, de modo análogo, Schrödinger também considerava, em uma perspectiva que poderíamos classificar como continuísta, que a teoria quântica começou há 24 séculos, com as investigações de Leucipo e Demócrito e a elaboração do “modelo” atomista<sup>7</sup>.

Vamos assumir, para as finalidades deste trabalho, não um continuísmo dos gregos à física nuclear do século XX, mas que tal física é bem mais recente. Para a história moderna da ciência do núcleo, apesar do ano emblemático de 1896<sup>8</sup>, com a descoberta da radioatividade por Becquerel ser, grosso modo, o primeiro capítulo nos manuais de um modo geral, começaremos nosso conciso relato pelo ano de 1905. Isto por que, para os nossos propósitos, nos interessa mais uma brevíssima história da fissão nuclear do que uma história geral dos modelos atômicos.

O artigo de 1905 de Einstein, sobre a equivalência massa-energia implicava a possibilidade de um *quantum* x de massa liberar, ou “irradiar” um determinado *quantum* equivalente de energia, conforme a equação  $E=mc^2$ ,

isto é, a energia obtida nesse processo deveria ser equivalente à quantidade da massa inicial, multiplicada pelo quadrado da velocidade da luz.

Einstein pensava em uma possibilidade de testar a teoria: observando substâncias como o rádio, que liberam energia na forma de radiação<sup>9</sup>. A proporção entre a perda de massa de uma determinada quantidade de rádio, e a energia liberada como radiação confirmaria a equivalência massa-energia? Este era um bom *gedankenexperiment*, mas sua realização física não era exequível. Sendo assim, Einstein não levou tal abordagem à frente por considerar que a mensuração da perda de massa do rádio estaria fora do alcance experimental da física de sua época<sup>10</sup>.

Durante um bom tempo os estudos empíricos da equivalência massa-energia não progrediram. Somente a partir de 1930 o cenário começou a mudar. Com a descoberta do nêutron por James Chadwick, a física do núcleo entraria em outra fase com o entendimento de que o núcleo atômico era formado por prótons e nêutrons. Cockroft e Walton, em 1932, se utilizaram de um acelerador de partículas para bombardear núcleos de lítio com prótons. Como resultado, cada 1 núcleo de lítio + 1 próton se transformavam em 2 núcleos de hélio. No processo, os físicos descobriram perda de massa e ganho de energia, e concluíram que o evento poderia ser explicado pela equação de equivalência massa-energia  $E=mc^2$ <sup>11</sup>. O próprio Einstein concebeu o experimento de Cockroft-Walton como a confirmação experimental, vinte e sete anos depois, da teoria de 1905:

*Segue-se da teoria da relatividade especial que massa e energia são duas manifestações diferentes da mesma coisa, uma concepção um tanto quanto não familiar para a mentalidade contemporânea. A equação  $E=mc^2$ , na qual energia é equivalente à massa multiplicada pelo quadrado da velocidade da luz, mostrou que quantidades muito pequenas de massa podem ser convertidas em quantidades enormes de energia. Massa e energia eram, de fato, equivalentes, de acordo com a fórmula mencionada. Isso foi demonstrado experimentalmente por Cockroft e Walton em 1932<sup>12</sup>*

57

O bombardeamento do núcleo atômico tornou-se, ao longo de toda a década de 1930, um forte programa de pesquisa. Pelo bombardeamento, físicos e químicos buscavam sondar a estrutura da matéria, mensurar eventos nucleares e confirmar a equivalência massa-energia. Tal programa de pesquisa resultaria, anos depois, na descoberta da fissão nuclear. Enrico Fermi participou ativamente desta fase, bombardeando, desde 1930, os núcleos de todos os elementos da tabela periódica, dos mais leves aos mais pesados, produzindo versões mais pesadas destes. Nas próximas páginas veremos que quando Fermi bombardeou o urânio, pensou ter produzido elementos ainda mais pesados que este.

## A fissão do núcleo atômico

Em 1934 Enrico Fermi e colaboradores observaram produtos de fragmentação nuclear por indução artificial, mas não o reconheceram como tal. Somente em 1939, Otto Hahn, Fritz Strassmann, Lise Meitner e Otto Robert Frisch entenderam que as observações do grupo de Fermi poderiam ser um caso de “fissão nuclear”, tal como o nomeou Frisch.

*Recentemente, em um artigo preliminar publicado neste jornal<sup>13</sup> relatamos que quando o urânio é bombardeado por nêutrons, são produzidos novos radioisótopos, com exceção dos elementos transurânicos – 93-96 – descritos anteriormente por Meitner, Hahn e Strassmann. Estes novos produtos radioativos aparentemente são gerados devido à decadência de  $U239$  pela emissão sucessiva de duas partículas  $\alpha$ . Por meio deste processo o número atômico 92 deve decair para 88; Isto é, o urânio decai em rádio [grifo nosso]<sup>14</sup>*

Ao misturar fragmentos de rádio ( $Z=88$ ) com pequenas partes de berilo ( $Z=4$ ), os átomos de berilo foram bombardeados pelos raios alfa emitidos pelo rádio, desprendendo os nêutrons de berilo. Fermi observou que quando

nêutrons lentos (refreados por barreiras de água) se chocavam com átomos de U-238, ( $Z=92$ ), o átomo de urânio se modificava. Fermi concebeu que quando esse processo ocorria, os nêutrons se transformavam e eram absorvidos como um elétron e um próton. O elétron era expelido, ao passo que o átomo deveria ficar com um próton a mais, dando origem aos elementos transurânicos ( $Z=93$ ) e ( $Z=94$ )<sup>15</sup>. Nas palavras de Fermi, a partir dos experimentos de 1934, ele e seus colaboradores:

*Concluíram que os produtos gerados eram um ou mais elementos de número atômico maior do que 92; e, em Roma, se referiam aos elementos 93 e 94 como Ausenium e Hesperium respectivamente*<sup>16</sup>.

Deste modo, ao invés de considerar a possibilidade de fissão do núcleo atômico, o grupo de Fermi pensou estar criando elementos transurânicos. No entanto, o primeiro elemento transurânico a ser realmente identificado foi o netuno, descoberto em 1940 por Edwin M. McMillan e Philip H. Adelson<sup>17,18</sup>. Já no ano anterior, no trabalho de 1939 citado acima, Strassmann e Hahn parecem indicar que os produtos dos experimentos de Fermi não eram novos elementos transurânicos, mas resultados de fissão nuclear.

Na verdade, conforme relata Weizsäcker em carta à *Nature*, Hahn sempre fora muito cauteloso em relação à possibilidade de ter descoberto a fissão nuclear. A primeira vez que Weizsäcker ouvira tal possibilidade foi em um telefonema entre ele e Hahn, ocorrido em 1938, em que Hahn, como químico, o consultara, por ser um físico teórico, acerca da possibilidade de fissão<sup>19</sup>. A cautela de Hahn não era indevida. Quando este comentou o assunto com Lisa Meitner, de acordo com Weizsäcker, ela considerou a possibilidade como algo *non sense*. Para Meitner, resultados que indicavam que o núcleo poderia ser cindido deveriam estar errados. Hahn e Strassmann repetiram o experimento de Joliot, que bombardeara urânio com nêutrons gerando produtos interpretados por ela como radioisótopos. Os resultados experimentais de Hahn e Strassmann convenceram Meitner: “O. Hahn e Strassmann F. descobriram um novo tipo de reação nuclear, a divisão em dois núcleos menores dos núcleos de urânio e tório sob bombardeamento de nêutrons”. Como física teórica, em parceria com Frisch, ela elaborou a representação teórica “correta” do fenômeno<sup>20</sup>.

58

O interessante, fato que reforça a importância dos erros no desenvolvimento da ciência, é que o trabalho de Meitner se utilizou do modelo nuclear de Bohr<sup>21</sup>. O modelo de Bohr, embora hoje seja considerado ultrapassado, permitiu o avanço em diversas áreas da física. Enfim, o argumento de Weizsäcker é que, embora a concessão do Nobel de química a Hahn em 1945 pela descoberta experimental da fissão seja justa, seria igualmente importante que Meitner recebesse o Nobel de física, por ter fornecido as bases teóricas que elucidam o processo<sup>22</sup>.

A descoberta da fissão por Hahn e Strassmann pode ser problematizada. Ora, Joliot, como ficou claro na própria carta de Weizsäcker, realizou seus experimentos antes de Hahn, e exerceu sobre este e Strassmann uma inegável influência. Latour lembra que em 1939 Joliot também publicou na *Nature* um artigo tratando da questão da fissão nuclear<sup>23</sup>. De acordo com Latour, foi o trabalho de Joliot que criou aquele programa de pesquisa, impactando diretamente os cientistas alemães:

*Joliot publicou um artigo na revista científica Nature, em abril de 1939, alegando que se podia criar 3,5 nêutrons por fissão. Ao ler este artigo, os cientistas na Alemanha, [como Hahn e Strassmann], Inglaterra e União Soviética tiveram uma atitude comum: reorientaram suas pesquisas com o objetivo de realizar aquela reação em cadeia [grifo nosso]*<sup>24</sup>

Se a fissão fora descoberta pelo grupo alemão ou francês, o fato é que Fermi, em 1934, já estava produzindo fissão nuclear em seus experimentos, sem se dar conta disso, há pelo menos cinco anos. Por que Fermi não reconheceu os produtos observados em 1934 como oriundos de fissão nuclear? Será que faltava ao grupo de Fermi uma teoria da fissão que os permitisse “enxergar” como fissão o resultado de seus experimentos? Faltava ao grupo os meios para conectar logicamente a descoberta ao conhecimento canônico de sua época? Isso pode nos levar a questões importantes acerca da relação entre teoria e experimento. Todo experimento pressupõe uma teoria? Na falta de uma teoria,

Fermi não pôde identificar os elementos observados como produtos de fissão, tal como o nativo de uma ilha perdida no pacífico não pode identificar um navio quando é o primeiro de sua gente a observar um?<sup>25</sup>. Essa concepção parece incompatível com a interpretação de Weizsäcker, de acordo com a qual, primeiro, Hahn e Strassmann produziram empiricamente um caso de fissão, depois, Meitner desenvolveu um modelo teórico representando o processo. Afinal, se em boa parte dos casos os experimentos são pensados para testar teorias, ou, se pressupõem teorias<sup>26</sup>, no caso em questão o experimento parece ter antecedido a teoria, tendo esta sido desenvolvida para “explicar” os fatos observados à luz do conhecimento canônico, ou seja, por meio de um modelo teórico aceitável.

## Fermi e os transurânicos

Entre 1933 e 1938, houve uma série de identificações de produtos do bombardeamento do urânio por nêutrons. Tais novos elementos foram apresentados como transurânicos, com número atômico superior a 92.

*Foi o cientista italiano, Enrico Fermi, em especial, quem percebeu pela primeira vez a grande importância que os nêutrons desempenham na produção de reações nucleares: Fermi e seus colegas de trabalho irradiaram praticamente todos os elementos da Tabela Periódica com nêutrons, produzindo também inúmeros elementos radioativos artificiais. (...) Fermi inferiu a produção dos chamados transurânicos, com número atômico 93, que não é conhecido naturalmente, e até mesmo de um elemento ainda mais pesado, o 94<sup>27</sup>.*

Em 1938 Fermi foi Laureado com o Nobel de Física, por ter demonstrado a “*existência de novos elementos radioativos produzidos pela irradiação de nêutrons*” e pela descoberta correlata sobre como nêutrons lentos produzem reações nucleares<sup>28</sup>.

Desde 1934 Fermi publicara artigos sobre a possibilidade de elementos transurânicos.

Temos aqui um problema realmente interessante. O grupo de Fermi bombardeou nêutrons contra urânio e não observou, pelos métodos da química analítica, produtos que pudessem ser classificados como urânio ( $Z=92$ ), ou com elementos próximos com número atômico inferior, tais como 91, 90, 89, 88. Excluindo algumas opções, como 87 e 86, por possuírem “*desconhecidos comportamentos químicos*” eles continuaram sondando outras possibilidades, como 83 e 82, bem abaixo de ( $Z=92$ ), mas não encontraram nada. Fermi considerou que seria mais simples que os produtos gerados tivessem números atômicos superiores a 92:

*A interpretação mais simples e consistente com os fatos conhecidos é assumir que as [atividades observadas] são produtos em cadeia, provavelmente com números atômico (s) 92, 93, 94 respectivamente. [grifo nosso]<sup>29</sup>.*

A vindicação de Fermi da existência de elementos transurânicos com número atômico superior a 92 foi motivada por alguns fatores, dentre os quais se destaca o pressuposto metafísico de simplicidade. Se o número de partida era 92, seria muito mais simples que o produto observado fosse 93 do que 83, por exemplo. No primeiro caso, temos um elemento transurânico com 1 número atômico acima de ( $Z=92$ ), no outro, temos ( $Z=83$ ), o bismuto, 9 números abaixo de 92. A simplicidade lógica de uma teoria que admitisse produtos com números 93 e 94, por exemplo, seria maior do que de uma teoria que tivesse que admitir produtos com números muito abaixo de 92.

Deste modo Fermi interpretou o resultado de suas observações tendo o pressuposto de simplicidade lógica das teorias como força de orientação. Contudo, o compromisso de Fermi com o pressuposto de simplicidade o levou ao erro. Na história da ciência, outros casos podem ser citados para ilustrar momentos em que os pressupostos metafísicos, tão necessários e inevitáveis que são à pesquisa, acabam gerando o feito contrário, inibindo o desenvolvimento da investigação. Aristóteles e Ptolomeu, pressupondo que a natureza deveria ser perfeita e bela, elaboraram um sistema

astrofísico geocêntrico com órbitas circulares perfeitas. Foi preciso muito tempo até que Hypatia de Alexandria tivesse a ousadia intelectual de conjecturar a possibilidade de órbitas elípticas em um sistema heliocêntrico (Sistema proposto por Aristarco na antiguidade), e mais tempo ainda até que Kepler verificasse a elipticidade da órbita de Marte<sup>30</sup>.

Em 1917, um novo trabalho de Einstein foi publicado<sup>31</sup>, defendendo a possibilidade de estudarmos o universo como um “objeto” geométrico único, passível de ser abordado em sua totalidade. Nascia, então, a cosmologia enquanto ciência moderna<sup>32</sup>. Em 1920, Alexander Friedmann demonstrou como derivar um modelo de universo dinâmico, em evolução, a partir das equações da Teoria da Relatividade Geral. No modelo de Friedmann, o universo, que hoje se encontra em expansão, apresentou uma singularidade inicial com todo o espaço-tempo compactado em um raio zero com densidade de energia infinita<sup>33</sup>. Einstein percebera que as equações relativísticas implicavam um universo dinâmico, mas introduziu em sua teoria um termo, a constante cosmológica  $\Lambda$ , com a função de neutralizar a expansão, revelando uma imagem estática, eterna e imutável do universo. Mas porque teria agido de tal forma? Para o físico, filósofo e historiador da ciência, Max Jammer, somente fatores religiosos e filosóficos influenciariam Einstein<sup>34</sup>:

*Se tivesse havido tais ingredientes extrafísicos na construção einsteiniana da Teoria da Relatividade, eles não poderiam ter sido sociológicos ou políticos – como afirmou Feuer, por exemplo – mas somente filosóficos ou religiosos, talvez, no sentido da definição einsteiniana desse termo<sup>35</sup>.*

Sua religiosidade filosófica spinozista, de acordo com Jammer, pode ter sido importante para Einstein na elaboração da constante cosmológica  $\Lambda$ , uma hipótese *ad hoc*: “Houve quem sugerisse que ele tivesse cometido esse erro crasso por ter sido influenciado por Espinosa, que havia declarado em sua Ética que Deus é imutável”<sup>36</sup>.

Fermi pode ter repetido a saga de Aristóteles, Ptolomeu e Einstein, defendendo um sistema teórico em desacordo com a realidade<sup>37</sup> por conta de seus pressupostos metafísicos? Mas terá Fermi realmente proposto a existência dos transurânicos motivado pelo pressuposto de simplicidade? A despeito da importância de outros fatores, acreditamos que podemos responder afirmativamente, embora com cautela: de certo, o pressuposto de simplicidade assumido por Fermi teve influência. Mas quais outros fatores podem ter contribuído? Em 1939 a sustentação da existência dos trasurânicos se tornaria difícil. Na mesma semana de 12 de dezembro de 1938, enquanto Fermi recebia o Nobel, Strassmann e Hahn concluíam seu trabalho sobre a fissão nuclear, o que provocaria a rejeição dos transurânicos de Fermi posteriormente. O grupo de Fermi terá persistido na defesa dos transurânicos, mesmo após a apresentação de teorias rivais, por conta de seu forte apego à simplicidade, tal como os aristotélicos defendiam o modelo das esferas concêntricas por sua convicção de que a natureza deveria expressar a perfeição dos círculos? Tal como Einstein pode ter proposto a constante cosmológica  $\Lambda$  por sua crença na imutabilidade do universo em escala global?

É preciso repetir a questão que fizemos acima. Por que Fermi não reconheceu os elementos das observações de 1934 como produtos de fissão nuclear, com número atômico bem abaixo de ( $Z=92$ )? Vamos trabalhar com duas hipóteses. A primeira hipótese é a seguinte: (1) Fermi não poderia ter observado produtos de fissão nuclear com número atômico baixo, porque o trabalho de Strassmann e Hahn sobre fissão viria a ser concluído somente cinco anos depois. Essa resposta seria aquela de acordo com a qual não há observação sem pressuposição teórica. Fermi não “viu” produtos de fissão nuclear, porque não havia uma teoria da fissão nuclear por meio da qual ele pudesse “ver” tal coisa. A segunda resposta seria aquela que apelaria para a força do pressuposto de simplicidade; ou seja (2) Fermi buscou a resposta mais simples para o problema que se apresentava, e a resposta mais simples era a vindicação da possibilidade de existência de elementos transurânicos. Ou seja, mesmo que Fermi considerasse a possibilidade de fissão, ele a negaria por ser uma complicação teórica, ao passo que ele buscava sua simplificação.

A primeira hipótese é insustentável, ao que parece, e não nos resta outra escolha a não ser rejeitá-la. E não é insustentável por razões epistemológicas, mas sim históricas. A química analítica alemã, Ida Tacke Noddack, publicou na revista alemã *Angewandte Chemie*<sup>38</sup>, pouco tempo depois do trabalho de 1933-34 de Fermi, um artigo que apresenta uma alternativa à existência dos elementos transurânicos. Noddack não usa o termo “fissão nuclear”, mas explica o processo, antecipando os resultados de Strassmann e Hahn. Para *Fathi Habashi*, Noddack considerou, antes

que qualquer outro cientista o fizesse, a possibilidade da fissão nuclear, sendo verdadeiramente aquela que descobriu e elaborou uma teoria do fenômeno, bem antes de Hahn e Strassmann, Meitner e Frisch<sup>39</sup>. O argumento de Noddack é muito claro e está diretamente dirigido aos trabalhos de Fermi. De acordo com ela, ao invés de considerarmos a produção de elementos transurânicos, podemos conceber que nêutrons, ao bombardear o núcleo atômico, podem produzir desintegrações nucleares, gerando o rompimento do núcleo em diversos fragmentos que seriam isótopos de elementos conhecidos (HOOK. 2007, p. 2010).

*Quando núcleos pesados são bombardeados por nêutrons, seria razoável imaginar que eles se fragmentam em várias partes, que são isótopos de elementos conhecidos, mas não são vizinhos dos elementos bombardeados<sup>40</sup>.*

É corrente o entendimento de que Fermi tomou conhecimento da descoberta da fissão e de uma teoria que a explicasse somente em 1938-1939. É o que narra Samuel Allison na biografia de Fermi da academia nacional de ciências norte americana:

*Dois semanas depois da chegada de Fermi na Universidade de Columbia, em janeiro de 1939, o professor Niels Bohr chegou de Copenhague, trazendo a notícia da descoberta da fissão do urânio pelo método do bombardeamento com nêutrons.<sup>41</sup>*

Todavia, como defende Habashi, desde 1934 a fissão era conhecida pela comunidade científica por meio do trabalho de Ida Noddack. Parece, portanto, que é muito plausível afirmar que, entre 1934 e 1939, Fermi possuía sim a teoria que lhe possibilitaria “ver” os elementos observados por seu grupo como produtos de fissão, e não como novos elementos com número atômico maior que 92. Ainda assim, ou realmente não viu, ou se negou a ver. Viu e ignorou a visão. A historiografia do caso parece sugerir que Fermi conhecia o trabalho de Noddack durante aqueles anos, e mesmo assim não o levou em conta, pelo que persistiu no movimento de “descoberta” de novos transurânicos. O trabalho de Noddack não era desconhecido, e o grupo de Fermi estava longe de ser mal informado. É possível, mas pouco provável, que Fermi não tomou conhecimento do mesmo.

Por que o trabalho de Noddack não foi apreciado em sua época? Por que a história da fissão nuclear, por certo tempo, omitiu a importância de Noddack? Por que Fermi ignorou a hipótese de fissão nuclear de Noddack e continuou defendendo os transurânicos?<sup>42</sup> Podemos oferecer duas respostas, *grosso modo*. A primeira é que Fermi não ignorava o trabalho de Noddack, mas não o levou em conta por razões epistêmicas. Aqui, insistimos na hipótese da adesão de Fermi ao pressuposto de que assim como a natureza é simples, as teorias devem ser igualmente dotadas de simplicidade lógica. Fermi, mesmo após tomar conhecimento do trabalho de Noddack, considerava que a existência dos novos elementos constituía uma explicação mais simples e, portanto, uma economia de pensamento. Em 1977, Edoardo Amaldi, um dos colaboradores de Fermi, sustentou que:

*A sugestão de Noddack fora apressadamente posta de lado porque envolvia um tipo completamente novo de reação: a fissão. Enrico Fermi, e todos nós que fomos educados na sua escola o seguimos, mostrou-se sempre muito relutante em invocar novos fenômenos tão logo algo fosse observado<sup>43</sup>.*

Ou seja, Fermi se orientava pelo princípio de simplicidade e buscava aplicar a economia de pensamento ao seu trabalho, evitando “invocar novos fenômenos”. Todavia, como já frisamos, neste caso específico, se esta realmente foi a sua motivação, o compromisso com a simplicidade o impediu de promover avanços, fazendo-o propor uma ideia que se revelaria insustentável. Claro que essa conclusão pode ser problematizada, até mesmo porque podemos nos perguntar se Fermi realmente escolheu a abordagem mais simples. Propor a fissão de entidades físicas que sabemos existir não seria mais simples do que vindicar a descoberta da existência de novas entidades teóricas para explicar os imprevistos de nossas observações? Ao fim e ao cabo, parece que podemos interpretar a posição de Fermi por outro viés, como se



ao invés de ter feito economia de pensamento, Fermi tivesse realizado o oposto, multiplicando hipóteses ao postular novos elementos, enquanto foi Noddack que realmente tomou o caminho mais simples, partindo do observável, o ( $Z=92$ ), e pressupondo que este poderia se desintegrar em isótopos observáveis de elementos igualmente observáveis. De um lado, Fermi postula entidades novas, de outro, Noddack postula reações novas de entidades já conhecidas. Não pretendemos, em último caso, defender qual imagem é de fato a mais simples – o que realmente importa é que Fermi talvez tenha feito o que fez, mesmo que estivesse equivocado, por considerar que era a sua teoria que satisfazia este critério. A razão para Fermi ter rejeitado a solução de Noddack seria, portanto, de ordem epistêmica e, em última instância, motivada por uma metafísica como força de orientação: a economia de pensamento, a pressuposição de que a natureza sempre “escolhe” a conformação mais simples.

A segunda resposta para o problema posto, ‘Por que Fermi ignorou o trabalho de Noddack e continuou defendendo os transurânicos?’, é aquela que alega que as motivações de Fermi não foram metafísicas, teóricas, metodológicas ou experimentais, mas axiológicas, éticas, em última instância, sociais. Por que tal resposta é interessante? Por que serve para ilustrar como múltiplos fatores podem influenciar os processos de rejeição de teorias, demonstrando que, em ciência, a fronteira entre o interno e o externo nem sempre é visível, quiçá, nem mesmo possível. Teorias são afirmadas e rejeitadas por meio de processos complexos que envolvem fatores metafísicos, epistêmicos, axiológicos, sociais, antropológicos, políticos, econômicos e ideológicos. Ao contrário do que Lacey sustenta, de que os valores estão presentes somente nas fases de (1) escolha de estratégias e (3) aplicação das teorias, mas não em (2) desenvolvimento das teorias, a hipótese de que Fermi rejeitou, ou ao menos ignorou o artigo de Noddack motivado por razões “extraepistêmicas” nos sugere que os valores podem impactar diretamente o conteúdo da pesquisa científica, deixando marcas internas nas teorias. Mas não somente valores, como também “contra-valores” estão presentes. Crenças pessoais, preconceitos, desconfiança, interesses políticos e sociais, todos esses elementos poderiam ser detectados nas teorias. No plano ideal, somente valores deveriam estar presentes, mas no plano factual, os contra-valores também exercem influência.

62

No caso de Fermi e Noddack, várias possíveis razões “extraepistêmicas” são aventadas por Ernest B. Hook para explicar a rejeição. Hook considera a hipótese de preconceito de gênero, mas a descarta de imediato. Afinal, Marie Curie havia morrido em 1934 após ser laureada com dois prêmios Nobel. O mesmo prêmio havia sido concedido à sua filha Irene em 1935, e Lisa Meitner era, já naqueles meados dos anos 30, uma cientista reconhecida internacionalmente. Outro possível tipo de preconceito seria de ordem pessoal e política. Noddack era considerada arrogante e áspera, realmente impopular, além de estar envolvida com o nazifascismo na Alemanha. Hook considera insuficiente a antipatia pessoal como explicação do motivo do trabalho de Noddack ser ignorado.

A mera menção da possibilidade de rejeição do trabalho de Noddack, por suas inclinações políticas ou por sua antipatia, contudo, é suficiente para nos lembrar de que a ciência é feita por seres humanos de carne e osso, com seus afetos, amizades, inimizades, medos e limitações. Se o temperamento de Alan Turing, por um lado, quase colocou tudo a perder durante o desenvolvimento de sua famosa máquina durante a segunda guerra mundial, por outro lado, foi um fator importante que o moveu na direção dos desenvolvimentos básicos para sua viabilização<sup>44</sup>. O temperamento de um praticante de ciência sem dúvida é um elemento importante a ser levado em conta quando nos perguntamos por que ele publicou ou deixou de publicar determinados trabalhos e porque rejeitou ou apreciou determinadas teorias. Não é somente a axiologia, mas também a psicologia da pesquisa científica que devemos considerar. Na realidade, o que pretendemos dizer é que metafísica, epistemologia, axiologia, antropologia, sociologia e psicologia da pesquisa científica são instâncias interligadas que se influenciam mutuamente. Kurt Gödel era introspectivo, tímido e retraído<sup>45</sup>. Talvez isso possa ajudar a explicar por que publicou tão pouco para alguém com tamanho potencial. Mesmo sendo um amante da filosofia, e tendo escrito muitos textos filosóficos, a imensa maioria destes não foi publicada enquanto Gödel estava vivo<sup>46</sup>. É muito provável que sua personalidade introvertida tenha contribuído para tanto. Desta forma, o lógico não se expôs, preservando ao máximo sua delicada e frágil zona de segurança pessoal. A metafísica de Gödel, todavia, também se faz presente em suas publicações, ou em seus trabalhos não publicados, como sua prova ontológica<sup>47</sup> e seu argumento da imortalidade da alma<sup>48</sup>. Não parece de todo implausível, portanto, que a personalidade de Noddack tenha sido um fator contribuinte para a não apreciação de seu trabalho (como, de acordo com Stent, teria

ocorrido com Avery e Mendel, por exemplo), embora concordemos com Hook que só isso parece ser insuficiente para o completo entendimento do caso.

Uma possibilidade ainda mais plausível para a rejeição do trabalho de Noddack também foi aventada por Hook<sup>49</sup>: a química alemã poderia sofrer, na época, um forte preconceito em relação à sua reputação científica, ou poderíamos dizer; uma desconfiança em relação ao seu caráter. Em outras palavras, em muitos círculos, Noddack poderia não ser vista como alguém confiável. Em 1925, Ida Noddack, Walter Noddack e Otto Berg, então empregados no laboratório de Walter Nerst, anunciaram a descoberta dos elementos 43 (Ma) e 75 (Rh). O clima na comunidade científica da época foi dominado pelo ceticismo. Este foi reforçado e evoluiu para a desconfiança total quando o grupo não apresentou as evidências que corroboravam a descoberta do elemento 43. As chapas originais dos raios x nunca se tornaram públicas (se é que existem) e os químicos não conseguiram reproduzir quantidades analisáveis do elemento. Quando, em 1937, Perrier e Sègre comunicaram a produção artificial do elemento 43, a desconfiança aumentou, porque muitos químicos entenderam, a partir daqueles experimentos, que as quantidades anunciadas pelos Noddack doze anos antes não eram exequíveis. A tabela periódica refletiu a compreensão da época, e o elemento 43, batizado pelos Noddack e por Berg de “masúrio”, passou a ser chamado de “tecnécio” (Tc). É como se a correção da tabela periódica corrigisse também a história, fazendo justiça aos autênticos descobridores do 43.

William Clifford sustentara que a comunidade científica possui um *ethos* próprio, interno, fruto da natureza de sua prática, e fundamentado nas relações de solidariedade, confiança e honestidade entre os cientistas. Leonardo Miguel nos lembra de que, para Clifford, o *ethos* científico é indispensável à realização da ciência: sem ele, a pesquisa científica não pode se desenvolver. O matemático vitoriano concebia o cientista como um modelo de virtude para toda a sociedade<sup>50</sup>. A ciência, portanto, poderia, além de tudo, ser também um elemento orientador da vida. A axiologia da pesquisa científica presente na concepção de ciência de Clifford assemelha-se àquela desenvolvida por Bronowski. O biólogo polonês pensava que os valores inerentes da ciência eram condições de possibilidade da mesma, e que dentre tais valores, se destacava o “hábito da verdade”<sup>51</sup>. A questão do *ethos* da pesquisa científica é de suma importância desde as origens da filosofia da ciência com William Whewell. Este, aliás, é um autor emblemático para pensarmos as diferenças entre os modos epistemicista e utilitarista de produção do conhecimento. Já no século XIX, Whewell percebera a transição que ocorria na ciência e buscou “evitar as tendências utilitarista, instrumental e especializada de produção do conhecimento e tecnologia”<sup>52</sup>. Essa postura era evidentemente condizente com sua concepção acerca do valor da ciência:

*Afinal, antes de ser um meio para o progresso material, a ciência, para Whewell, era uma empreitada vocacional, de caráter espiritual, que implicaria o engajamento e a responsabilidade do praticante em relação a determinados valores sociais*<sup>53</sup>.

Para Leonardo Miguel<sup>54</sup>, Whewell considerou a questão acerca do sujeito da pesquisa científica, daquele indivíduo que faz a ciência. O cientista deveria ser um homem de caráter, porque a credibilidade da ciência não decorreria apenas de seu conteúdo epistêmico, mas também do seu *ethos*. O conhecimento científico seria fruto de uma forma de comportamento específica, de uma determinada “atitude” frente à vida.

Podemos dizer, por nossa vez, que se o anúncio da descoberta dos elementos 43 e 75, feito por Noddack em 1925, foi realmente um engodo, esta, mais do que praticar uma ação moralmente condenável, produziu anti-ciência. Sua ação quebrou os laços de confiança que sustentam o *ethos* científico, nas palavras de Clifford, traiu o hábito da verdade como motor principal da ciência, como diria Bronowski, depôs contra a credibilidade não somente de seu trabalho, mas contra a credibilidade da ciência em si, se levamos as palavras de Whewell às últimas consequências. Ao tentar fazer ciência sem o seu devido *ethos*, Noddack teria feito anti-ciência e comprometido a legitimidade da ciência perante a sociedade. Seria extremamente plausível, portanto, que Fermi tivesse ignorado seu trabalho, não por seu conteúdo, mas por ter sido produzido por alguém que traía o *ethos* da pesquisa científica em outra oportunidade, perdendo, assim, credibilidade. Afinal, de acordo com Whewell, não é somente o conteúdo da pesquisa que importa,

mas *aquela* que a realiza. Ao protagonizar um caso de engodo que feria o *ethos* científico, Noddack perdera capital científico, caindo em descrédito. O trabalho de Noddack ilustra um caso de autêntico caso de prematuridade axiológica? Talvez não, pois o trabalho da fissão nuclear não foi teria sido negado por Fermi por suas consequências para o *ethos*, ou para campo moral em sentido mais amplo. Se Fermi recusou a considerar o trabalho de Noddack não foi pelo trabalho em si, mas por sua proveniência. O problema axiológico não estava neste trabalho de Noddack, mas no outro, no caso de engodo. O que Fermi teria recusado seria a credibilidade da autora como fonte confiável, por conta de uma mácula pregressa. As considerações axiológicas podem ter levado Fermi a rejeitar um trabalho promissor. Se entendermos o caso por meio desse prisma ele nos revelará como as práticas científicas são complexas e atravessadas por muitos fatores, e como no dia a dia da investigação científica teorias podem ser aceitas ou rejeitadas em nomes de princípios que extrapolam a “lógica da pesquisa científica”.

## Considerações finais

O que teria levado Noddack a produzir o engodo com seus colaboradores (se de fato o produziu)? A busca por *status*, a pressão produtivista por resultados, a corrida frenética pelo novo? Seja o que for, quando a ciência é despida de uma metafísica como força de orientação, de uma boa resposta para a questão “qual é o valor da ciência?”, ela também se encontra desprovida de um *ethos* fecundo e sólido. Se o desejo por produção, progresso material, *status* profissional, inovação, pesam mais na balança do que a paixão por compreensão, distorções deste tipo podem ocorrer com mais frequência.

64

A hipótese de que Fermi não apreciara o trabalho de Noddack por conta de motivos concernentes ao *ethos* científico, porque a química analítica alemã teria ferido princípios básicos da axiologia da pesquisa científica, embora atraente, talvez se sustente em terreno pantanoso. A questão acerca da vindicação da descoberta do elemento 43 pelos Noddack não está clara, e o debate se estende aos dias atuais. Em 2005, Zingales publicou o artigo From masurium to trinacrium: the troubled story of element 43<sup>55</sup> no *Journal of Chemical Education*, no qual dava ênfase à tese de que os Noddack não teriam produzido a quantidade de masúrio que anunciaram, e que o elemento 43, o tecnécio, fora descoberto realmente por Segrè e Perrier. A reação ao artigo de Zingales mostra o quanto a história possui meandros ainda por ser considerados. Talvez os Noddack tenham, realmente, produzido o 43 em condições cujo registro ficou comprometido<sup>56</sup>. Se isto for o caso, então a tese de que Fermi rejeitou o trabalho de Ida Noddack por conta do engodo de 1925 cai por terra? Pensamos que não. Para que a hipótese se sustente não é necessário que o engodo tenha sido o caso, mas que Fermi estivesse convencido que o era. William Brock<sup>57</sup> e Seaborg<sup>58</sup> sustentaram que, após o episódio do masúrio, os Noddack ficaram tão desacreditados e com a reputação tão manchada, que seria de se esperar que o trabalho de 1934, mesmo com forte conteúdo teórico e potencial experimental, fosse rejeitado por razões axiológicas. Já Ernest B. Hook<sup>59</sup> considera tal tese implausível, embora não negue que fatores relacionados a diversos tipos de preconceitos, ainda que não sejam suficientes para explicar a rejeição, podem estar presentes em casos como o de Fermi e Noddack.

Quais os reais motivos para Fermi ter rejeitado o trabalho de Noddack? Fermi alegou que não os conhecia, argumento muito frágil, como vimos, primeiro porque o trabalho fora publicado na Alemanha em 1934, e as publicações científicas circulavam pela Europa, sendo o grupo de Fermi muito bem alocado e informado, e segundo porque o depoimento de Almadi confirma que o grupo de Fermi rejeitou o trabalho de Noddack. Seja como for, entendemos que muitas razões epistemológicas e axiológicas podem ter se combinado e contribuído de forma complexa para o acontecido, e não somente uma única razão qualquer que seja. Quando analisamos casos de prematuridade da descoberta científica no sentido proposto por Gunter Stent, verificamos que a rejeição de teorias pode contar com uma imensa variabilidade de fatores. Não nos cabe, neste momento, detalhar todos estes fatores, tampouco saber quais realmente estiveram presentes no caso Fermi-Noddack. É-nos suficiente, simplesmente notar que quaisquer casos que estudemos em ciência, se não analisados por meio de uma abordagem complexa, que leve em conta tanto aspectos lógicos, metodológicos

quanto axiológicos, psicológicos e sociais, que não pergunte tanto pelas razões metafísicas, quanto políticas e mesmo pessoais, que estejam envolvidas, estarão fadados a constituir uma imagem incompleta de ciência, que há de reforçar distorções, dogmas e incompreensões.

Em suma, o caso de Fermi serve para ilustrar como uma abordagem complexa em filosofia da ciência se faz necessária. A filosofia não pode ficar restrita a uma análise lógica da linguagem, mas também não pode ser apenas uma descrição dos locais de produção e de seu ambiente e cotidiano político, institucional, social. Qualquer abordagem, a não ser que seja complexa, será caricatural. O caso Fermi-Noddack deixa claro o quão difícil, quão impossível, é definir de uma vez por todas por qual motivo Fermi realmente rejeitou o trabalho da química analítica alemã. Defendemos que isso acontece porque a rejeição não tem um motivo, mas uma gama de motivações complexas que se combinam e reforçam. Dentre tais motivações, em nossa interpretação, se destacam razões metafísicas e axiológicas, mas as razões políticas e sociais devem ser tomadas como importantes, igualmente. Além de considerar que sua teoria era mais simples do que a de Noddack (o que explicaria ele ter escolhido uma em detrimento de outra), Fermi pode ter se recusado a levar a sério o trabalho de Noddack porque esta agira com desonestidade no passado (o que explicaria o motivo de Fermi não ter nem ao menos citado Noddack).

Para utilizarmos a expressão de Bronowsky, tanto o pressuposto metafísico de simplicidade, quanto o princípio axiológico de honestidade, fazem parte do *hábito da verdade*. Em última instância, Fermi pode ter negado o trabalho de Noddack por conceber que aquele trabalho não refletia a busca pela verdade que caracteriza o espírito científico.

O fato de que o *hábito da verdade* tenha sido o fator principal que motivou o trabalho de Fermi, e sua recusa de Noddack, não inviabiliza que outras variáveis tenham desempenhado alguma função, em maior ou menor grau. Acreditamos, portanto, em uma relação inversamente proporcional entre ciência e filosofia da ciência. Se por um lado, a teoria científica deve buscar a simplicidade, a teoria em filosofia da ciência deve aspirar à complexidade. Enquanto a ciência pressupõe que a natureza e/ou os métodos científicos devem ser simples, a filosofia da ciência deve pressupor a ciência como fenômeno complexo, em que metafísica, lógica, epistemologia e axiologia, imbricadas, desempenham um papel fundamental, bem como aspectos sociais, culturais, institucionais, políticos e psicológicos.

65

## Notas e Referências biográficas

Vinícius Carvalho da Silva é doutor e mestre em Filosofia e Teoria do Conhecimento pela UERJ. Pós-doutorado em andamento pelo Instituto de Medicina Social da UERJ. Pesquisador da Universidade do Tocantins. Foi professor de Teoria e História da Ciência e Epistemologia na Universidade Federal do Tocantins. E-mail: [viniciusfilo@gmail.com](mailto:viniciusfilo@gmail.com)

- 1 Agradeço ao meu orientador de doutoramento, o Dr. Antonio Augusto Passos Videira, por todo apoio na elaboração desta pesquisa. Ao Dr. André de Oliveira Mendonça, meu supervisor de pós-doutoramento no Instituto de Medicina Social da UERJ, pelos diálogos inspiradores. À Dr<sup>a</sup> Marcia Begalli, do Instituto de Física Armando Dias Tavares da UERJ, por ter me acolhido no *Hands on Particle Physics*, pelas intermináveis conversas sobre física de partículas e pelas longas seções de análise de colisões de partículas do LHC-CERN no âmbito do projeto. Frequentar o Departamento de Física Nuclear e Altas Energias da UERJ foi, sem dúvida, um forte elemento que me motivou a realizar o presente trabalho. Agradeço à Biblioteca do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas por disponibilizar seu acervo, permitindo-me consultar revistas e periódicos antigos. Agradeço aos colegas do grupo de pesquisa "Estudos Sociais e Conceituais em Ciência, Tecnologia e Sociedade" por todas as instigantes discussões. Por fim, agradeço à Faperj pelo apoio financeiro que possibilitou a realização dessa pesquisa.
- 2 STENT, Gunter. *Dissonância interdisciplinar e prematuridade* in *Prematuridade na descoberta científica: sobre resistência e negligência*. Ernest B. Hook (Org.). Gita K. Guinsburg (Trad.). São Paulo: Perspectiva, 2007.
- 3 Para saber mais: OTTO, P. Fundamentos bioquímicos da hereditariedade: natureza do material genético. *Rev. Soc. Bras. Med. Trop.*, v. III; n. 4, p. 229-235.
- 4 CHOPPIN, G. R.; LILJENZIN, J. O.; RYDBERG, J.; *Radiochemistry and Nuclear Chemistry*, Butterworth-Heinemann: Oxford, 1995.
- 5 Desenvolvemos tal linha de raciocínio em: SILVA, Vinícius Carvalho. Teoria quântica, Física Nuclear e Filosofia Grega. *Griot: Revista de Filosofia*, v.15, n.1, junho/2017, p. 233-250.
- 6 HEISENBERG, Werner. *Nuclear Physics*. London: Methuen & Co., 1953.
- 7 SCHRÖDINGER. *A Natureza e os Gregos, seguido de Ciência e Humanismo*. Lisboa: Edições 70, 1996.

- 8 Para um estudo mais amplo da história da física nuclear sugerimos a obra supracitada de Heisenberg.
- 9 PAIS, Abraham. *Sutil é o Senhor... A ciência e a vida de Albert Einstein*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995, p. 170.
- 10 CREASE, Robert P. *As grandes equações: a história das fórmulas matemáticas mais importantes e os cientistas que as criaram*. Alexandre Cherman (Trad.). Rio de Janeiro: Zahar, 2011, p. 152.
- 11 CREASE, Robert P. *The brief guide to The Great Equations: The hunt for cosmic beauty in numbers*. London: Constable & Robinson Ltd, 2009, p. 289
- 12 Transcrição de um áudio gravado por Albert Einstein que consta dos arquivos do *American Institute of Physics*, disponível em: <<http://www.aip.org/history/mod/audio/fission/04einstein.html>>. Para um estudo mais detalhado sobre a história da fissão nuclear, recomendamos o documento *The Discovery of Fission* no site do *American Institute of Physics*. Arquivos de áudio de declarações de Thomson, Rutherford, Einstein, Bohr, Hahn, Frisch, Fermi, Szilard, Compton, entre outros, são documentos interessantes que podem ajudar a reconstruir a história da fissão nuclear. Os documentos podem ser acessados em: <<http://www.aip.org/history/mod/fission/fission1/01.html>>.
- 13 HAHN, Otto; STRASSMANN, Fritz. *Naturwissenschaften* 26, 756, 1938.
- 14 HAHN, Otto; STRASSMANN, Fritz. Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle. *Die Naturwissenschaften*, 27, 1939, p. 9
- 15 FERMI, Enrico. Possible Production of Elements of Atomic Number Higher than 92. *Nature*, 133, p. 898-899, 1934. Disponível em: <http://www.nature.com/nature/journal/v133/n3372/abs/133898a0.html>
- 16 FERMI, Enrico. Artificial radioactivity produced by neutron bombardment. *Nobel Lecture*, December 12, 1938. p. 416-417. Disponível em: <[http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1938/fermi-lecture.pdf](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1938/fermi-lecture.pdf)>
- 17 Conforme o discurso de apresentação do prêmio Nobel de química, de 1951, proferido por A. Westgren, que consta de *Nobel Lectures, Chemistry 1942-1962*, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1964, disponível em: <[http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/laureates/1951/press.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1951/press.html)>.
- 18 Cabe ressaltar que o campo de pesquisas em física nuclear era visto como estratégico durante o período retratado. A iminência da Guerra produzia uma enorme demanda por tecnologia e inovação. Os primórdios da física nuclear estão marcados por controvérsias e polêmicas. Um trabalho que nos permite problematizar tal questão foi elaborado pelos antropólogos Laura Nader e Hugh Gusterson: *Nuclear Legacies: arrogance, secrecy, ignorance, lies, silence, suffering, action in Half-Lives and Half-Truths: Confronting the Radioactive Legacies of the Cold War*. Barbara Rose Johnston, ed. Santa Fe: School for Advanced Research Press, 2007. p. 306. Os autores chamam a atenção para o fato de que no início dos anos 40 os experimentos sobre os efeitos da radiação sobre seres humanos não obedeciam a critérios mínimos de segurança e foram realizados em diversas partes do mundo, colocando populações em risco.
- 19 WEIZSÄCKER, Carl Friedrich. Hahn's Nobel was well deserved. *Nature*, v. 383, 1996, p. 294.
- 20 MEITNER, Lisa; FRISCH, Otto R. Products of the Fission of the Uranium Nucleus. *Nature*, 143, 1939. 471-472.
- 21 WEIZSÄCKER, op. cit., 1996, p. 294.
- 22 De acordo com Salomon (2005), o erro do comitê do Nobel em nunca reconhecer que o trabalho teórico de Meitner foi fundamental para o entendimento conceitual da descoberta de Hahn vem sendo objeto de muitos estudos em história da ciência. Para saber mais: MIZRAHI, Salomon. Mulheres na Física: Lise Meitner. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 27, n. 4, 2005. p. 491 – 493.
- 23 HALBAN, H; JOLIOT, F; KOWARSKI, L. Number of Neutrons Liberated in the Nuclear Fission of Uranium. *Nature*, n. 43, 1939, p. 680.
- 24 LATOUR, Bruno. *Joliot: l'Histoire et la Physique Mêlées* in SERRES, M (Org.) *Éléments d'histoire des sciences*. Paris: Bordas, 1989, p. 494. Disponível em: <<http://www.bruno-latour.fr/node/275>>. Vale ressaltar que o artigo que citamos de Hahn e Strassman foi publicado na *Naturwissenschaften* em janeiro de 1939, tendo sido precedido por outro artigo, de 1938, ao passo que o artigo referido por Latour foi publicado na *Nature* em Abril de 1939, portanto, dois meses após o artigo de Hahn-Strassmann.
- 25 HACKING, I. *Representar e Intervir*. Rio de Janeiro: Eduerj, 2012, p. 241-277.
- 26 HANSON, Norwood R. Observação e interpretação, In: MORGENBES-SER, S. *Filosofia da ciência*. São Paulo: Cultrix, 1979. p. 133.
- 27 HAHN, Otto. From the natural transmutations of uranium to its artificial fission. *Nobel Lectures, Chemistry 1942-1962*, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1964. Disponível em: [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/laureates/1944/hahn-lecture.pdf](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1944/hahn-lecture.pdf) (HAHN. 1946, p. 55)
- 28 HOOK, Ernest B. *Dissonância interdisciplinar e prematuridade in Prematuridade na descoberta científica: sobre resistência e negligência*. Gita K. Guinsburg (Trad.). São Paulo: Perspectiva, 2007, p. 204.
- 29 FERMIN apud HOOK, Ernest B. *Dissonância interdisciplinar e prematuridade in Prematuridade na descoberta científica: sobre resistência e negligência*. Gita K. Guinsburg (Trad.). São Paulo: Perspectiva, 2007, p. 205.
- 30 No sistema ptolomaico, a simplicidade era sacrificada no altar da beleza, os estudos de Kepler, por sua vez, sacrificaram a beleza (ao menos no sentido do ideal antigo) no altar da simplicidade. Claro que havia outros elementos, metafísicos e éticos, em jogo, afinal, o que se disputava era uma concepção de mundo, uma visão de natureza. Lembramos que na antiguidade Aristarco também propusera a hipótese heliocêntrica.
- 31 EINSTEIN, Albert. Considerações Cosmológicas sobre a Teoria da Relatividade Geral. In: *O Princípio da Relatividade*. 3. ed. Tradução Mário José Saraiva. Porto: Fundação Calouste Gulbenkian, 1983, p. 225-241.
- 32 Esta é a posição defendida por Marcelo Byrro Ribeiro e Antonio Augusto Passos Videira em: RIBEIRO, Marcelo; VIDEIRA, Antonio Augusto Passos. Cosmologia, uma ciência especial? Algumas considerações sobre as relações entre cosmologia moderna, filosofia e teologia. In: CRUZ, Eduardo R. da (Org.) *Teologia e Ciências Naturais*. São Paulo: Paulinas, 2011, p. 162-195.
- 33 NOVELLO, M. *Do Big Bang ao universo eterno*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2010.
- 34 Peter Galison parece oferecer interpretação totalmente contrária acerca das motivações de Einstein e dos cientistas em geral. Galison minimiza a importância de motivações metafísicas e religiosas e defende que os cientistas são influenciados, sobretudo, (a) pelo trabalho cotidiano em seus laboratórios, (b) interesses, pressões e ambiente institucional, (c) bem como por fatores políticos e sociais. Ver: GALISON, Peter. *Os relógios de Einstein e os mapas de Poincaré*. Lisboa: Gradiva, 2005. p. 231.
- 35 JAMMER, Max. *Einstein e a religião: Física e Teologia*. Rio de Janeiro: Contraponto, 2011. p.33. Jammer não se compromete com a correção de tais

- hipóteses, mas não as ignora. Em *Einstein e a religião*: física e teologia, ele levanta e discute tais possibilidades.
- 36 Espinosa na Ética, corolário 2 da proposição 20, parte I, sustenta que “Deus é imutável”, ou seja, que o universo é imutável; logo, não poderia ser dinâmico. Ver: SPINOZA, Baruch. *Ética*. Tradução Lívio Xavier. São Paulo: Atena, 1957. p. 38. Proposição semelhante encontramos em *Breve Tratado de Deus, do Homem e de seu bem estar* onde Spinoza afirma que “as essências de todas as coisas são desde a eternidade e permanecerão imutáveis por toda a eternidade”. Ver: ESPINOSA, Baruch. *Breve tratado de Deus, do homem e de seu bem estar*. Emanuel Angelo da Rocha Fragoso; Luís César Guimarães Oliva (Trad.). Belo Horizonte: Autêntica Editora, 2014. p. 49.
- 37 Colocar o problema nesses termos significa assumir como autoevidente uma concepção realista tanto em sentido ontológico quanto em sentido epistemológico, isto é, tanto acerca da natureza, quanto do conhecimento científico. Investigar a justificação do realismo como metafísica da ciência, contudo, não é nosso propósito neste trabalho.
- 38 NODDACK, Ida. *Das Periodische System der Element und Seine Lücken*. *Angew. Chem.* 47. 1934, p. 301-305. \_\_\_\_\_. *Über das Element 93*. *Angew. Chem.*, n. 47, 1934, p. 653-655.
- 39 Ver “Ida Noddack and the missing elements” na [página da Royal Society of Chemistry](http://www.rsc.org/education/eic/issues/2009March/ida-noddack-rhenium-nuclear-fission.asp), por HABASHI, Faith. Disponível em: <http://www.rsc.org/education/eic/issues/2009March/ida-noddack-rhenium-nuclear-fission.asp>. Acesso em: 15 maio 2015.
- 40 RAYNER-CANHAM, M; RAYNER-CANHAM, G, W. *Devotion to Their Science: Pioneer Women of Radioactivity*. Québec: McGill-Queen's Press, 1997, p. 222. Nesta obra há um capítulo escrito por Faith Habashi dedicado a Ida Tacke Noddack, “que propôs a fissão nuclear”.
- 41 ALLISON, S. *Enrico Fermi, 1901-1954*. Washington D.C: National Academy of Science, 1957, p. 130.
- 42 Motivos aparentemente triviais também são mencionados na literatura. De acordo com a reconstrução histórica de Laura Fermi, esposa de Fermi, este não chegou à fissão nuclear, por pura “falta de imaginação”. Ver: FERMI, Laura. *Atoms in the family*. Chicago: University of Chicago Press, 1954. p. 157.
- 43 AMALDI, Edoardo. *The Prelude to Fission*. In: J. W. Beherens & A. D. Carlson (eds). *Fifty Years with Nuclear Fission*. La Grange Park: American Nuclear Society.
- 44 Para acessar artigos de autoria de Turing e sobre Turing, documentos, manuscritos, correspondências, relatórios e biografias sobre o matemático, recomendo os arquivos Alan Turing: <<http://www.turingarchive.org/>>
- 45 Publicações de e sobre Gödel podem ser consultadas no *The MacTutor History of Mathematics archive* da [School of Mathematics and Statistics, University of St Andrews Scotland](http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/index.html). Disponível em <<http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/index.html>>
- 46 Ver o artigo sobre Gödel no *Dicionário de biografias científicas*. Benjamin C, editor. Rio de Janeiro: Contraponto; 2007.
- 47 Idem
- 48 Idem.
- 49 HOOK, op. cit., 2007, p. 212.
- 50 MIGUEL, L. R. *Pensamento Científico, Integridade de Caráter e Coletividade: uma leitura sobre a ética da crença de William Kingdon Clifford*. Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2011.
- 51 BRONOWSKI, J. *Ciência e Valores Humanos*. Alceu Letal (Trad.) São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1979, p. 50.
- 52 MIGUEL, L. R. *William Whewell: as motivações e os objetivos de um filósofo da ciência* in *Perspectivas contemporâneas em Filosofia da Ciência*. Antonio Augusto Passos Videira (Org.). Rio de Janeiro: Eduerj, 2012, p. 21.
- 53 MIGUEL, op. cit., 2012, p. 22.
- 54 MIGUEL, op. cit., 2012.
- 55 ZINGALES, Roberto. From Masurium to Trinacrium: The Troubled Story of Element 43. *J. Chem. Educ.*, 2005, n. 82, v. 2, p 221.
- 56 Hibashi escreveu uma carta ao periódico fazendo ressaltar (e elogios) ao trabalho de Zingales. A pequena carta, bem como a réplica de Zingales, serve para situar o autor acerca do debate em torno da história do elemento 43, sendo um material muito instrutivo, embora diminuto. Ver: v. 83, n. 2, fev. 2006. *Journal of Chemical Education*. Disponível em: <[www.JCE.DivCHED.org](http://www.JCE.DivCHED.org)>
- 57 BROCK, William H. *The Norton History of Chemistry*. New York: W. W. Norton, 1993, p. 343.
- 58 HOOK, op. cit., 2007.
- 59 Idem.

[Artigo recebido em Março de 2019. Aceito para publicação em Junho de 2019]